

ZMIENNOŚĆ POKRYWY LODÓW MORSKICH W OKRESIE MAKSYMUM ICH ROZWOJU NA MORZU GRENLANDZKIM W I POŁOWIE XX WIEKU

CHANGES IN THE SEA-ICE COVER DURING THEIR MAXIMUM DEVELOPMENT IN THE GRENLAND SEA IN THE FIRST HALF OF THE TWENTIETH CENTURY

Katarzyna Adrychowska

Katedra Geodezji i Oceanografii Wydziału Nawigacyjnego, Akademia Morska
ul. Sędzickiego 19, 82-374 Gdynia
k.lange@wn.am.gdynia.pl

Zarys treści. Artykuł przedstawia zmiany powierzchni lodów występujące w okresie maksimum ich rozwoju (w kwietniu) w rejonie między Grenlandią, Islandią i Spitsbergenem w latach: 1901-1939 oraz 1946-1956 oparte na analizach map lodowych udostępnionych przez Duński Instytut Meteorologiczny. Obliczeń powierzchni lodów dokonano w programie ArcGis10.0 w układzie współrzędnych North Pole Lambert Azimuthal Equal Area. Przeprowadzone pomiary powierzchni zlodzonej wskazują na dużą zmienność powierzchni lodów na obszarze między Spitsbergenem, Grenlandią i Islandią. W tym rejonie największe powierzchnie lodów wystąpiły w 1905, 1906 i 1911 roku, a najmniejsze w latach 1925 i 1930. Znacznie mniejsze zmiany powierzchni lodów miały miejsce w rejonie Cieśniny Duńskiej i na wodach między Islandią i SE Grenlandią. W tym rejonie największy rozwój pokrywy lodowej miał miejsce w 1934, 1935 oraz 1952 roku, a najmniejszy w latach 1939, 1929 i 1903. Na całym badanym obszarze największy rozwój lodów miał miejsce w okresie 1905-1918 z maksimum w latach 1906 (1638 tys. km²), 1911 i 1918. Minimum rozwoju pokrywy lodowej wystąpiło w 1933 roku (1037 tys. km²). W okresie 1901-1939 zaznacza się istotny trend malejący powierzchni lodów. Zmiany powierzchni lodów w latach 1946-1956 charakteryzują się dużą stabilnością oscylującą między 1300 a 1500 tys. km².

Słowa kluczowe: zasięg lodu morskiego, pokrywa lodowa, Morze Grenlandzkie.

1. Wprowadzenie

Postępujący od I połowy XX wieku spadek powierzchni i zasięgu pokrywy lodowej w Arktyce budzi wiele kontrowersji. Tempo tego spadku wyraźnie wzrosło w ostatnich dwóch dekadach. Trwa debata nad przyczynami redukcji powierzchni lodów w Arktyce. Zdaniem niektórych badaczy (m.in. Comiso i in. 2008, Vinnikov i in. 1999, Perovich i in. 2012) jest ona skutkiem globalnego ocieplenia spowodowanego działalnością człowieka, inni (m.in. Kinnard i in. 2008; Chylek 2009) uważają, że jest to głównie wynik procesów naturalnych o cyklicznym lub quasi-cyklicznym charakterze. Obserwacje satelitarne lodu morskiego dostępne od 1979 roku mają zbyt krótkie szeregi by móc rozstrzygnąć istniejące różnice w poglądach na ten temat. Niniejsza praca sięga do jeszcze nie w pełni opracowanych materiałów dokumentujących zlodzenie w pierwszej połowie XX wieku, aby sprawdzić czy już wcześniej nie dochodziło do podobnych zmian jakie obserwuje się współcześnie.

Informacji o występowaniu lodów morskich w Arktyce w czasach historycznych dostarczają stare zapisy w dziennikach okrętowych i notatki ówczesnych kapitanów statków nawigujących po wodach

Arktyki i Subarktyki, publikacje podróżników pływających w XIX i XX wieku w rejonach Grenlandii, Svalbardu czy Ziemi Franciszka Józefa jak również zapiski traperów zimujących w tych rejonach. Na postawie tych materiałów wykreślano w ówczesnych latach zbiorcze mapy zasięgu lodów morskich. W dotychczasowych badaniach zmienności pokrywy lodowej na obszarze mórz nordyckich – Norweskiego, Islandzkiego, Grenlandzkiego i Barentsa (m.in. Vinje 2001, Shapiro i in. 2003, Overland i in. 2011) – najczęściej wykorzystywano informacje na temat zmian zasięgu lodów morskich zawarte w zbiorze „March through August Ice Edge Positions in the Nordic Seas, 1750-2002”, opracowanym przez Divine’a i Dick’a (2007), udostępnianym następnie przez National Snow and Ice Data Center (NSIDC) w Stanach Zjednoczonych. Zbiór ten dla lat 1750-1966 bazuje na danych historycznych zgromadzonych przez Norweski Instytut Meteorologiczny (Vinje 2001) dla poszczególnych miesięcy sezonu letniego, od kwietnia do sierpnia, w tych latach i miesiącach, dla których istniały jakieś zapisy (Divine i Dick 2006).

W 2011 roku Duński Instytut Meteorologiczny (DMI) udostępnił zbiór wielkoformatowych skanów map lodowych tworzonych corocznie w DMI jako załączniki do roczników „The state of the ice in the Arctic Seas” wydawanych przez DMI w latach 1899-1956. Mapy te oparte są na obserwacjach „*in situ*” prowadzonych ze statków, które operowały w Arktyce (Lange 2013a). Choć jakość obserwacji lodowych przedstawianych na tych mapach jest różna (Lange 2013b), to dla rejonu atlantyckiej Arktyki, w której w I połowie XX wieku nawigowało wiele statków, sytuację lodową przedstawianą dla określonych momentów (rok, miesiąc) na każdej z map można uznać za wiarygodną. Już zgrubne porównanie treści map z kolekcji DMI z mapami zasięgów lodów na morzach nordyckich znajdującymi się w zbiorze Divine’a i Dick’a (2006, 2007) pozwala postawić tezę, że mapy z kolekcji duńskiej mogą istotnie uszczegółowić posiadaną wiedzę na temat minionych zasięgów pokrywy lodowej w atlantyckiej Arktyce w pierwszej połowie XX wieku.

Celem tej pracy jest przedstawienie zmian powierzchni i zasięgu lodów morskich w I połowie XX wieku w okresie maksimum ich corocznego rozwoju. Powierzchnia lodów w Arktyce, w rocznym cyklu zmian, maksimum rozwoju osiąga na ogół w końcu marca. W kolekcji map lodowych DMI dla wszystkich lat dostępne są mapy dla kwietnia. Biorąc pod uwagę obserwowaną współcześnie międzyroczną zmienność wystąpienia maksimum średniej rocznej powierzchni lodów i fakt niewielkich różnic między powierzchnią lodów w marcu i kwietniu, można przyjąć, że określenie tej powierzchni w kwietniu da wielkości najbardziej zbliżone do rocznego maksimum ich rozwoju. Obszar badań obejmuje Morze Grenlandzkie (IHO 1953), niewielkie obszary mórz przyległych (Norweskiego, Islandzkiego) oraz wody przy SE wybrzeżach Grenlandii, które uwzględniono ze względu na chęć całościowego przedstawienia zasięgów lodów rozwijających się na Morzu Grenlandzkim i następnie dryfujących na te wody.

2. Źródła danych i metody

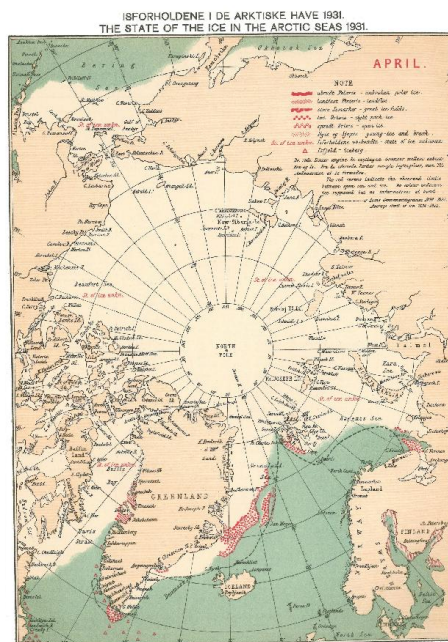
Zbiór „Arctic Sea Ice Charts from Danish Meteorological Institute, 1893-1956” udostępniony przez DMI (<http://brunnur.vedur.is/pub/trausti/lskort/>) zawiera mapy dla kwietnia (ryc. 1), maja, czerwca, lipca i sierpnia, przy czym nie dla każdego roku dostępne są mapy z wszystkich wymienionych miesięcy. Mapy te były tworzone w DMI dla kilku miesięcy sezonu nawigacyjnego, okresu, w którym w I połowie XX wieku w rejony arktyczne licznie wypływały statki rybackie, które zajmowały się połowem wielorybów czy fok w pobliżu skraju lodów morskich, statki prowadzące rejsy eksploracyjne, statki przewożące w latach 1905-1938 węgiel ze Spitsbergenu do Europy oraz zaopatrujące osady położone na Spits-

bergenie i Grenlandii (Kelly 1979). Obecnie poza DMI omówienie tych map i pliki graficzne znajdują się także na stronach NSDIC (<http://nsidc.org/data/docs/noaa/g02203-dmi/>).

Każda mapa dostępna w omawianym zbiorze to wielkoformatowy skan w formacie JPG o rozdzielczości około 5000 x 7000 pikseli. Łącznie zbiór składa się z 252 plików graficznych. Do niniejszej pracy z archiwum DMI pobrano skany map dla kwietnia, z lat 1901-1956 z luką wojenną w latach 1940-1945. Następnie każdą z map przekształcono z pliku graficznego poprzez rejestrację map w układzie współrzędnych do formatu wektorowego. Do tego celu wykorzystano program ArcGis v.10.0. Metoda rejestracji opisana jest we wcześniejszej pracy autorki (Lange 2013a). Zasięg lodów został zwektoryzowany z map zarejestrowanych w odwzorowaniu stereograficznym. Wektoryzacją objęto pokrywę lodową określoną na mapie jako: landfloe ,great ice-fields, tight pack-ice and open ice. W wektoryzacji nie ujęto gór lodowych oraz nieciągłych obszarów lodu, takich jak np. na mapie z 1931 roku, poniżej Jan Mayen (ryc. 1). Następnie za pomocą narzędzia 'Project' wszystkie zasięgi lodów przekształcono do projekcji wiernopowierzchniowej „North Pole Lambert Azimuthal Equal Area”, aby za pomocą narzędzia „Calculate Geometry” wiernie obliczyć powierzchnie zalodzone z wyłączeniem obszarów lądowych.

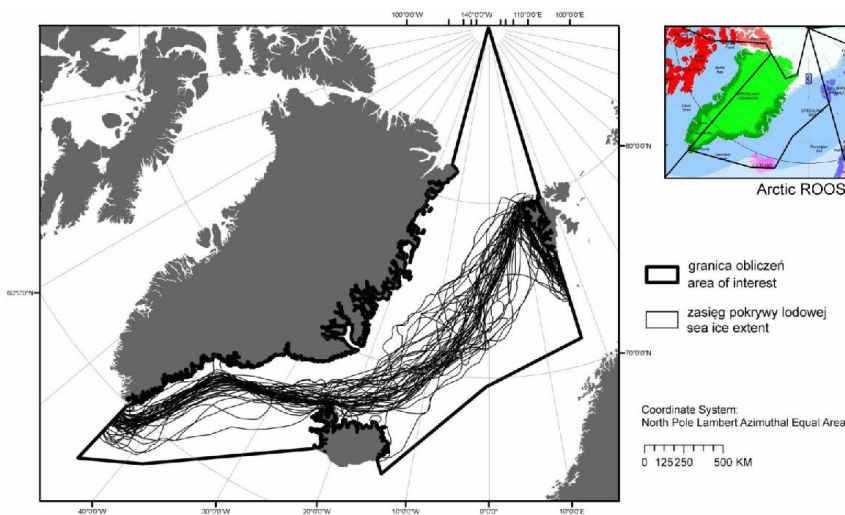
Ryc. 1. Mapa lodowa ze zbioru Duńskiego Instytutu Meteorologicznego dla kwietnia 1931 roku (<http://brunnur.vedur.is/pub/trausti/lskort/>)

Fig. 1. Map of ice from the Danish Meteorological Institute for April 1931 (<http://brunnur.vedur.is/pub/trausti/lskort/>).



Obszar badań nazwany w pracy „Morze Grenlandzkie” (ryc. 2) wykracza poza granice tego morza definiowane przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną (IHO 1953). Generalnie zastosowane w pracy granice obszaru badań są zgodne z tymi, jakie przyjęto dla obszaru nazywanego „Morze Grenlandzkie” w programie Arctic ROOS (Arctic Regional Ocean Observing System) monitorującym zmiany pokrywy lodowej mórz arktycznych na zdjęciach satelitarnych (<http://arctic-roos.org/observations/sea-ice-variability-in-regions>). Południową i wschodnią granicę obszaru badań zastosowaną w niniejszej pracy, w stosunku do tych wyznaczanych w programie Arctic ROOS (ryc. 2), zmodyfikowano w taki sposób, aby objąć badaniami także te akweny na SE od wybrzeży Grenlandii i SE od wybrzeży Islandii, na których lody morskie tworzące się na Morzu Grenlandzkim zostają czasami

zdryfowane pod wpływem prądów morskich i dryfu wiatrowego. Przyjęta w pracy granica na zachodzie biegnie wzdłuż południka 43°44'W – od wybrzeża Grenlandii do 56°N, natomiast na wschodzie – wzdłuż południka 16°35'E – od wybrzeży Spitsbergenu do 71°30'N.



Ryc. 2. Granice obszaru badań oraz zasięgi lodów morskich w kwietniu
 Fig. 2. The boundaries of the study area and sea ice extent in April.

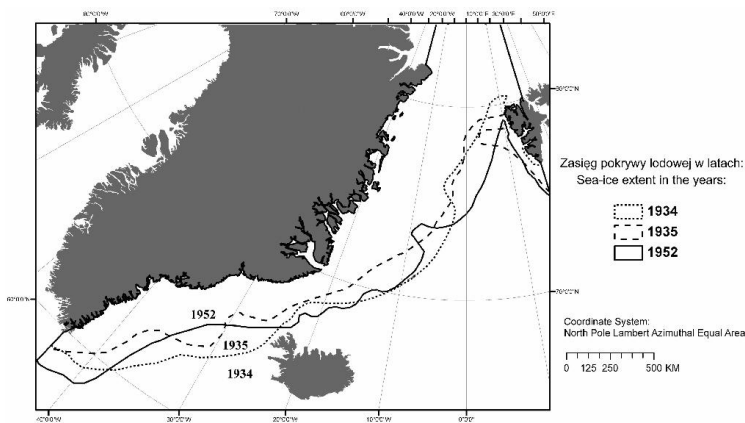
3. Wyniki

W latach 1901-1956, na całym badanym obszarze zasięg lodów morskich w okresie maksimum ich rozwoju, w kwietniu, podlegał dużym zmianom (ryc. 2). Zakres zmian był znacznie większy we wschodniej części badanego obszaru – między Islandią, Grenlandią i Spitsbergenem, aniżeli w jego zachodniej części – między Islandią i SE Grenlandią. Najmniejsze zmiany przestrzenne położenia skraju lodów miały miejsce w Cieśninie Duńskiej. Małe zmiany zasięgu lodów zachodziły również wzdłuż zachodniego wybrzeża Spitsbergenu, gdzie (poza latami 1917 oraz 1919) skraj lodu najczęściej był oddalony od wybrzeża średnio na 60 km.

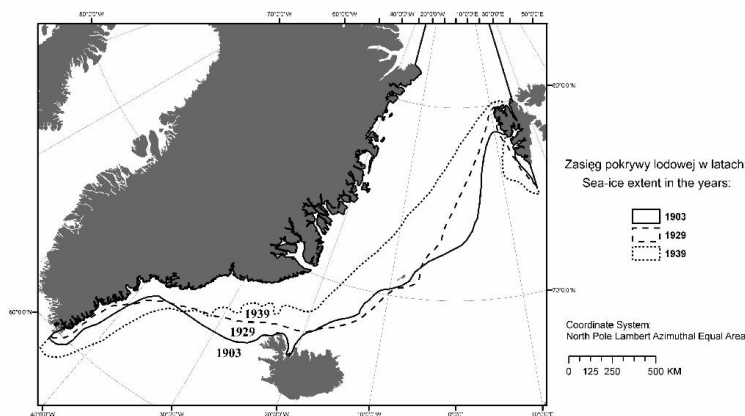
W analizowanych latach, w zachodniej części badanego obszaru (między SE wybrzeżem Grenlandii i Islandią) zakres zmian położenia skraju lodów w okresie maksimum ich rozwoju wyniósł średnio około 90 km. W tym rejonie największe powierzchnie lodów wystąpiły w 1934, 1935 i 1952 roku (ryc. 3). W 1934 roku pokrywa lodowa rozciągała się na odległość do około 480 km od wybrzeża Grenlandii. Największe cofnięcie się zasięgu lodów w okresie maksimum ich rozwoju na wodach przy SE wybrzeżu Grenlandii stwierdzono w 1929 roku. Wtedy to lody rozciągały się wąskim, zaledwie 10. kilometrowym pasem wzdłuż SE wybrzeża Grenlandii (ryc. 4). Bardzo małe powierzchnie lodów na tym obszarze wystąpiły również w 1903 i 1939 roku.

W tym samym czasie, kiedy skraj lodów w rejonie SE Grenlandii, między Cape Farewell i Angmagsalik (60-66°N) znajdował się w niewielkiej odległości od brzegu, wody Cieśniny Duńskiej na ogół w znacznej mierze pokryte były lodami (ryc. 4), a w niektórych latach pokrywały je niemal całkowicie. W rejonie NW wybrzeży Islandii najdalej na południe lody sięgały w 1903 roku kiedy to oparły się o Półwysep Westfjords i wypełniły wody Zatoki Huna (Húnaflói). Inną charakterystyczną cechą rozkładu

pokrywy lodowej w latach, w których pokrywa lodowa na wodach w pobliżu SE wybrzeży Grenlandii była niewielka, był duży rozwój powierzchni lodów we wschodniej części badanego obszaru doprowadzający do zamykania w lodach wyspy Jan Mayen (ryc. 4). Taka prawidłowość wystąpiła w latach 1903, 1905, 1906, 1911, 1929, 1939 i 1952.



Ryc. 3. Maksymalny zasięg lodu w zachodniej części badanego obszaru
 Fig. 3. Maximum ice extent in range for the western part of the study area.



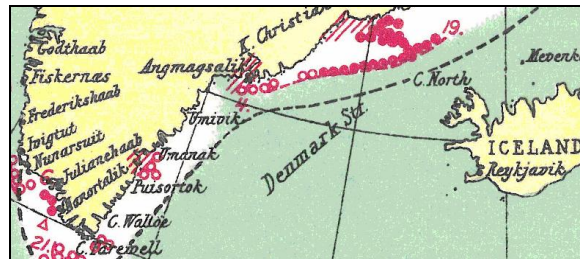
Ryc. 4. Minimalny zasięg lodu w zachodniej części badanego obszaru
 Fig. 4. Minimum ice extent in range for the western part of the study area.

Analizując zasięgi lodów w rejonie SE wybrzeży Grenlandii w latach 1901-1956 tylko jeden raz zauważono częściowy zanik pokrywy lodowej przy niewielkim fragmencie wybrzeża Grenlandii. Było to w kwietniu 1954 roku, kiedy to na podejściu do fiordów Sermilik i Ikerssuaq (ryc. 5). W tym czasie, na obok leżących obszarach skraj lodów znajdował się w większej odległości od brzegu – na południe od 65°N zbliżony był do zasięgu średniego w latach 1919-1943 (czarna linia przerywana na ryc. 5), a w Cieśninie Duńskiej tylko nieco od tej średniej mniejszy. Brak lodów w tym rejonie wiązać można bądź z jednostkową obserwacją położenia lodów w tym rejonie (na co wskazuje informacja na mapie, iż obserwacja pochodzi z 4 kwietnia), nie oddającą średniego miesięcznego rozkładu lodów, bądź

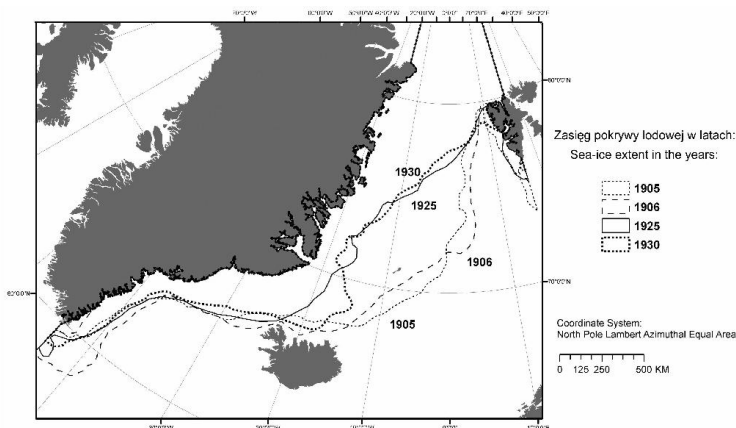
z dynamicznym ruchem lodów wywołanym silnymi wiatrami katabatycznymi, które mogą wiać wzdłuż osi fiordów i powodować odpychanie lodów dryfujących od wybrzeża lub krawędzi lodu stałego w stronę otwartego morza (m.in. Oltmanns i in. 2014, Moore i in. 2015).

Ryc. 5. Wycinek mapy przedstawiający charakterystyczną przerwę w lodach w 1954 roku

Fig. 5. Part of the map showing characteristic isthmus sea ice extent in the year 1954.



We wschodniej części badanego obszaru (między Islandią, Grenlandią i Spitsbergenem; na morzach Grenlandzkim, Islandzkim i NW części Norweskiego) w pierwszej połowie XX wieku położenie skraju lodów podlegało bardzo dużym zmianom (ryc. 2 i 6). Różnica zasięgu granicy lodów w czasie osiągnięcia przez pokrywę lodową największej i najmniejszej powierzchni w tym rejonie wynosiła 510 km. Największe powierzchnie lody morskie miały w 1905 i 1906 roku, kiedy to pokrywa lodowa rozciągała się na odległość do około 690 km od wybrzeża Grenlandii. W tym czasie skraj lodów występował daleko na wschód od wyspy Jan Mayen (ryc. 6) i w strefie 72-80°N przyjmował przebieg południkowy wzdłuż około 3°E (w 1905 r.) – 5°E (w 1906 r.). Największe cofnięcie się zasięgu lodów w okresie maksimum ich rozwoju na wodach przy tej części wybrzeża Grenlandii stwierdzono w 1925 i 1930 roku (ryc. 6). Wtedy to lody rozciągały się stosunkowo wąskim, około 120. kilometrowym pasem wzdłuż wybrzeża Grenlandii.

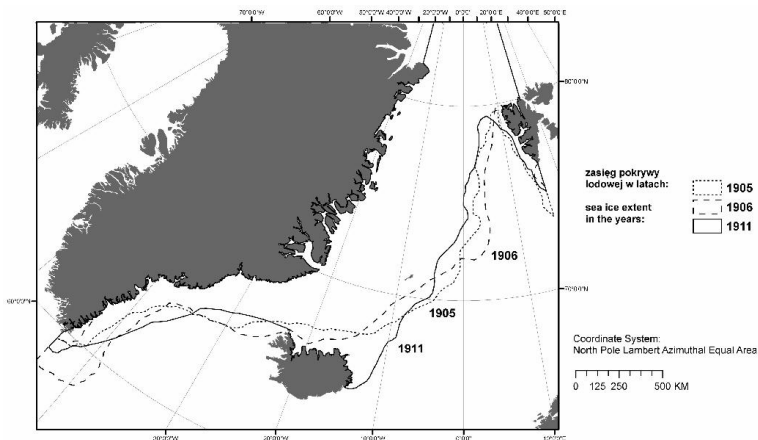


Ryc. 6. Minimum zasięgu lodu w latach 1925, 1930 oraz maksimum w 1905 oraz 1906 roku

Fig. 6. Minimum ice extent for 1925, 1930 with maximum ice extent in the years 1905 and 1906.

Cechą charakterystyczną rozkładu lodów we wschodniej części badanego obszaru jest to, że zarówno w czasie największego, jak i najmniejszego, rozwoju powierzchni lodów w kwietniu, południowy skraj lodów w Cieśninie Duńskiej nie schodził poniżej 65°N, jedynie wzdłuż brzegów Grenlandii

ciągnął się dalej na południe ich pas o szerokości około 150-200 km. Najbardziej południowe położenie skraju lodów na Morzu Islandzkim odnotowano w 1911 r. (ryc. 7) kiedy to lody, wraz z wodami Prądu Wschodnioislandzkiego, zdryfowały nieco na południe wzdłuż wschodnich wybrzeży Islandii. Do oparcia się lodów o północne wybrzeża Islandii doszło również w 1902, 1903 (ryc. 4), 1919 i 1920 roku.

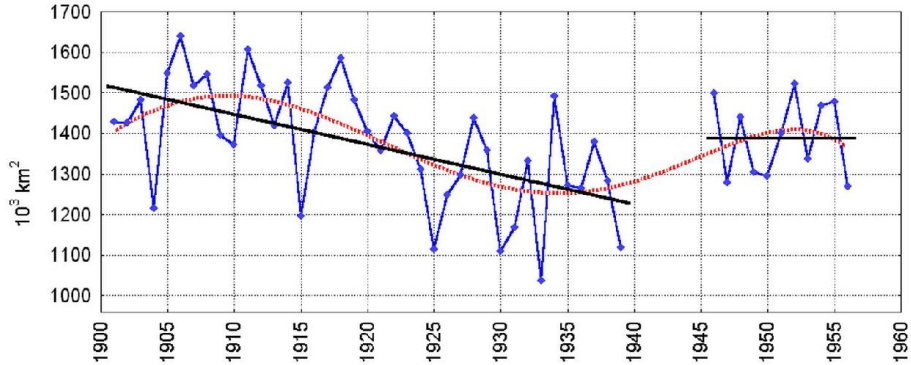


Ryc. 7. Maksymalny zasięg lodów w rejonie Islandii w latach 1905, 1906 i 1911

Fig. 7. Maximum ice extent near Iceland in the years 1905, 1906 and 1911

Analizując na całym opracowywanym obszarze zmiany powierzchni lodów w funkcji czasu (ryc. 8) wyróżnić można dwa okresy zmian 1901-1939 oraz 1946-1956. W pierwszym okresie zaznacza się bardzo duża dynamika zmian powierzchni lodów z roku na rok, w drugim – takie zmiany są o wiele mniejsze. W pierwszym okresie wystąpiły 4 fazy gwałtownego wzrostu i 4 fazy gwałtownego spadku pokrywy lodowej. Najsilniejsze wzrosty powierzchni lodów miały miejsce w latach od 1904 do 1906 (o 423,5 tys. km²), w latach 1915-1918 (o 389,6 tys. km²), w latach 1925-1928 (o 324 tys. km²) oraz między rokiem 1933 i 1934 kiedy to wystąpiła największa zmiana powierzchni lodów z roku na rok – o 454,7 tys. km² (ryc. 8). Największy, względnie systematyczny, spadek powierzchni lodów wystąpił między rokiem 1918 i 1925 kiedy to pokrywa lodowa zmalała z 1585,5 do 1113,5 tys. km² (o 472 tys. km²). Duże spadki miały też miejsce w latach 1928-1930 (o 329,3 tys. km²), między rokiem 1914 i 1915 (o 327,8 tys. km²) oraz między rokiem 1932 i 1933 (o 296,1 tys. km²). W drugim okresie (1946-1956) zmiany powierzchni lodów z roku na rok nie przekraczały 200 tys. km².

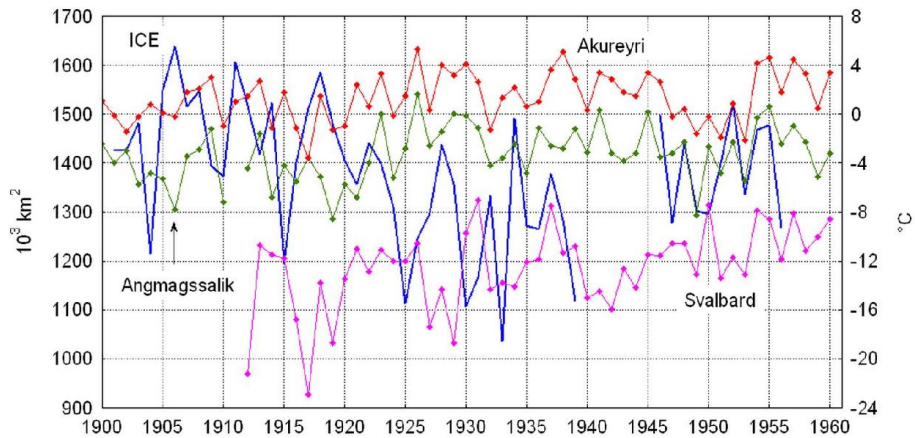
Choć średnia powierzchnia lodów była w obu wyróżnionych okresach podobna (1375 tys. km² w latach 1901-1939 i 1390 tys. km² w latach 1945-1956), to w pierwszym okresie zaznacza się wyraźny, istotny statystycznie trend malejący (ryc. 8). Okres ten można podzielić na trzy podokresy: lata 1905-1918 – to 14. letni okres bardzo dużego rozrostu pokrywy lodowej, lata 1919-1925 – to 7. letni okres względnie systematycznego spadku powierzchni lodów, po którym przez kolejne 14 lat (1926-1939) powierzchnia lodów w okresie jej maksymalnego rozwoju w ciągu roku była przeciętnie o około 200 tys. km² mniejsza. Czy okres ten kończy się w 1939 roku trudno stwierdzić, ze względu na kilkuletni, spowodowany II wojną światową, brak danych. W latach 1946-1956, nastąpił kolejny rozrost pokrywy lodowej, ale choć jej powierzchnia nie spadała poniżej 1270 tys. km², to była przeciętnie o około 100 tys. km² mniejsza niż w latach 1905-1918.



Ryc. 8. Zmiany powierzchni lodów morskich w kwietniu w latach 1901-1956 na Morzu Grenlandzkim wyrównane wielomianem 5°. Oznaczono trendy liniowe w latach 1901-1939 oraz 1946-1956

Fig. 8. Changes in the sea-ice cover in April of 1901-1956 on the Greenland Sea smoothed by the 5° polynomial. Marked linear trends in the years 1901-1939 and 1946-1956.

W latach 1901-1956 przebieg zmian powierzchni lodów w kwietniu, w momencie bliskim osiągnięcia przez nie maksimum rozwoju w cyklu rocznym, jest z dużym przybliżeniem zgodny ze znanymi z pomiarów zmianami temperatury powietrza w tej części Arktyki. Na początku XX wieku na wschodnim wybrzeżu Grenlandii pracowała stacja Angmagssalik (Tasiilaq; 65°36'N, 37°38'W), na północnym wybrzeżu Islandii stacja Akureyri (65°41'N, 018°05'W), a na Spitsbergenie ciągle pomiary meteorologiczne zaczęto prowadzić od 1912 roku (Nordli 2010). Przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza na tych stacjach w kwietniu (ryc. 9) wskazuje, że wzrosty i spadki temperatury powietrza związane są z odpowiednimi spadkami i wzrostami powierzchni lodów na Morzu Grenlandzkim.



Ryc. 9. Zmiany powierzchni lodów morskich w kwietniu w latach 1901-1956 na Morzu Grenlandzkim (ICE) oraz przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza w kwietniu na stacjach Angmagssalik, Akureyri i Svalbard

Fig. 9. Changes in the sea-ice cover in April of 1901-1956 on the Greenland Sea (ICE) and course of monthly air temperature in April at Angmagssalik, Akureyri i Svalbard station.

4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary powierzchni zlodzonej na Morzu Grenlandzkim w kwietniach, czyli momentach zbliżonych do osiągnięcia przez pokrywę lodową maksymalnych rozmiarów, wykazują dużą skalę zmian jej powierzchni, jaka zachodziła w latach 1901-1956. Stwierdzono rozrost pokrywy lodowej w latach 1905-1918. W tym okresie średnia jej powierzchnia wynosiła około 1455 tys. km², a zmienność powierzchni lodów z roku na rok była bardzo duża i sięgała 400 tys. km². Wystąpiły w tym okresie trzy lokalne maksima powierzchni lodów – w 1906 roku (1638 tys. km²), 1911 roku (1606 tys. km²) i 1918 roku (1585 tys. km²). Po roku 1918 nastąpił trwający aż do roku 1925 szybki spadek powierzchni lodów, który ustabilizował się na średnim poziomie około 1250-1300 tys. km², wykazując przy tym dużą zmienność z roku na rok. W okresie od 1925 do 1939 r. (?) czterokrotnie powierzchnia pokrywy lodowej zmniejszała się do wartości niższych od 1150 tys. km² (miało to miejsce w 1925 – 1113 tys. km², 1930 – 1108 tys. km², 1933 – 1037 tys. km² (absolutne minimum w badanym okresie), 1939 – 1118 tys. km²). Ze względu na brak map z lat II wojny światowej (1940-1945), nie można wyznaczyć roku, od którego rozpoczął się ponowny rozrost pokrywy lodowej. Średnia pokrywa lodów w latach 1946-1956 ponownie wzrosła do około 1390 tys. km², stając się istotnie większa niż w poprzednim okresie, nie osiągając jednak rozmiarów z początków XX wieku. W stosunku do poprzednich okresów, w latach 1946-1956 w kwietniu na Morzu Grenlandzkim wyraźnie zmniejszył się zakres zmienności pokrywy lodowej.

Opisane zmiany zachowania się powierzchni lodów morskich w kwietniu wykazują ogólną zgodność ze zmianami temperatury powietrza występującymi w otoczeniu Morza Grenlandzkiego. Okresowi spadku powierzchni lodów w momencie zbliżonym do ich maksymalnego rozwoju w cyklu rocznym, jaki nastąpił w latach 20. i 30. XX wieku odpowiada duży wzrost temperatury powietrza na Spitsbergenie (Isfjord Radio) i nieco mniejszy wzrost na Grenlandii i Islandii.

Literatura

- Chylek P., Folland C. K., Lesins G., Dubey M. K., Wang M., 2009. Arctic air temperature change amplification and the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 36, L14801, doi:10.1029/2009GL038777.
- Comiso J.C., Parkinson C.L., Gersten R., Stock L., 2008. Accelerated decline in the Arctic sea ice cover. *Journal of Geophysical Research*, 35, L01703, doi:10.1029/2007GL031972.
- Divine D.V., Dick C., 2006. Historical variability of sea ice edge position in the Nordic Seas. *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, C01001, doi:10.1029/2004JC002851.
- Divine D.V., Dick C., 2007. March through August ice edge positions in the Nordic Seas, 1750-2002. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. <http://dx.doi.org/10.7265/N59884X1>.
- IHO (International Hydrographic Organization), 1953. *Limits of Oceans and Seas*, 3rd edition. Special Publication No. 23 (S-23). Monaco, International Hydrographic Organization: 40 s.
- Kelly P.M., 1979. *An Arctic Sea Ice Data Set: 1901-1956*. Glaciological Data Report: Workshop on Snow Cover and Sea Ice Data. GD-5. World Data Center A for Glaciology (Snow and Ice). Boulder, CO: 101-106.
- Kinnard C., Zdanowicz C.M., Koerner R., Fisher D.A., 2008. A changing Arctic seasonal ice zone – observations from 1870–2003 and possible oceanographic consequences. *Geophysical Research Letters*, 35, L02507, doi:10.1029/2007gl032507.
- Lange K., 2013a. Kalibracja dawnych map zasięgu lodów morskich w Arktyce z zastosowaniem systemów informacji geograficznej. *Polski Przegląd Kartograficzny*, 45 (4): 344-351.

- Lange K., 2013b. Zmiany powierzchni lodów morskich w rejonie Svalbardu w latach 1901-1930. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 23: 181-190.
- Moore G.W.K., Renfrew I.A., Harden B.E., Mernild S.H., 2015. The impact of resolution on the representation of southeast Greenland barrier winds and katabatic flows. *Geophysical Research Letters*, 42 (8): 3011-3018.
- Nordli O., 2010. The Svalbard airport temperature series. *Bulletin of Geography – physical geography series*, 3: 5-25.
- Oltmanns M., Straneo F., Moore G.W.K., Mernild S.H., 2014. Strong downslope wind events in Ammassalik, Southeast Greenland. *Journal of Climate*, 27: 977-993.
- Overland J.E., Wood K.R., Wang M., 2011. Warm Arctic cold continents: climate impacts of the newly open Arctic Sea. *Polar Research*, 30, 15787, doi: 10.3402/polar.v30i0.15787.
- Perovich D., Meier D, Tschud M., Gerland S., Richter-Menge J., 2012. Sea ice. [w:] *Arctic Report Card 2012*. <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>.
- Shapiro I., Colony R., Vinje T., 2003. April sea ice extent in the Barents Sea, 1850–2001. *Polar Research*, 22 (1): 5-10.
- Vinje T., 2001. Anomalies and trends of sea-ice extent and atmospheric circulation in the Nordic Seas during the period 1864-1998. *Journal of Climate*, 14 (3): 255-267.
- Vinnikov K.Y., Robock A., Stouffer R.J., Walsh J.E., Parkinson C.L., Cavalieri G.J., Mitchell J.F.B., Garrett D., Zakharov V.F., 1999. Global warming and Northern Hemisphere sea ice extent. *Science*, 286 (5446): 1934-1937. DOI: 10.1126/science.286.5446.1934.

Wpłynęło: 21 czerwca 2015 r., poprawiono: 17 grudnia 2015 r., zaakceptowano: 25 grudnia 2015 r.

Summary

The article present changes of sea ice extent during a period of time when they developed most (April) in the geographical area located between Greenland, Iceland and Spitsbergen during years 1901-1939 and 1945-1956 based on data shared by Danish Meteorological Institute. Surface calculations were made by using ArcGis 10.0 software, using geographical coordinate system North Pole Lambert Azimuthal Equal Area. Results of the calculations show high deviations of sea ice extent at investigated area. Biggest surface area noted in 1905, 1906 and 1911 and smallest in 1925 and 1930. Much smaller changes were observed and at the sea between Iceland and South-Eastern Greenland. During the period 1901-1939 a diminishing trend was observed there considering ice surface area. Years 1946-1956 remain with a stable amount of ice surface.

Key words: sea ice extent, sea ice cover, Greenland Sea.